

·科学前沿·

对新型量子计算范例的哲学透视*

周昌乐

(厦门大学, 厦门 361005)

摘要:本文围绕着突破经典计算能力的问题,对量子计算范例作全面深入的哲学透视。除了系统介绍这种“自然机制+算法”的新兴计算范例外,还将量子计算范例同其他现有的主要计算范例进行了比较。结果说明,到目前为止,只有量子计算范例才真正突破经典计算的计算范围,因而其有着深远的科学和哲学意义。

关键词:量子计算 计算范例 结合自然机制的算法 计算哲学

[中图分类号]B085 **[文献标识码]**A **[文章编号]**1000-0763(2003)01-0094-07

一、引言

二十世纪八十年代后,传统的符号逻辑计算范例由于不断暴露出的局限性,受到了学术界普遍的质疑,新型的计算范例不断被提出,以克服符号逻辑计算范例在计算能力,特别是在计算复杂性方面的不足。人们对计算的观念也随之发生了很大的改变。但就今天而言,在所有提出的计算范例中,已趋成熟的神经网络计算范例和遗传演化计算范例,除了在复杂性计算方面(因给出了一些 NP 问题的近似解。这里所谓 NP 问题,通俗地讲,就是指那些指数计算复杂性的难解性问题)优于符号逻辑计算范例外,并没有从根本上动摇经典计算的丘奇-图灵论题。

到了九十年代,生物学家与数学家联合利用生物基因这一自然资源,提出了一种基因计算的新范例,在计算复杂性方面取得了令人瞩目的成就,解决了哈密尔顿图、可满足性等 NP 问题。使人们看到了突破经典计算局限性的新希望。但随着对基因计算理论的深入研究发现,虽然基因计算具有以往计算范例所不具备的优越性,如高度特异性、双链互补性和生物并行性,但就计算能力而言,仍然没有超越图灵机的界限。

那么是不是统治了长达近七十年的图灵经典计算理论真的永远不可超越呢?本文就是围绕着这个问题,对始于八十年代而基本上初成于二十世纪末的量子计算范例作全面深入的哲学透视,并从本质上给出这种“自然机制+算法”的新兴计算范例的典型代表的计算机理、计算能力、计算复杂性以及广泛应用前景的说明。我们将指出,到目前为止,只有量子计算范例才真正能够计算经典计算机不能计算的任务。

二、量子计算及其计算优越性

量子计算机的研究有着较长的历史。五十年代后期,就有研究人员利用粒子的自旋,成功地进行了简单的两位量子逻辑运算。八十年代则是量子计算研究的真正初创期,本纽夫在此期间首先给出了一种图灵机的量子机制描述^[1],其主要概念是可逆计算,可称为可逆图灵机,当然离真正的量子图灵机还差得很远。

* 得到国家自然科学基金资助(项目批准号:60275023)。

[收稿日期]2001年4月22日

[作者简介]周昌乐(1959—)男,理学博士,厦门大学软件学院院长、教授、博士生导师。

而从量子效应考虑图灵机设计的是由费尔曼开始的^[2],到了杜特煦才取得了实质性进展^[3],给出了真正的量子图灵机的描述。到了九十年代,不但有了通用量子图灵机构造证明^[4],而且量子计算复杂性理论也已初步形成^[5]。与此同时,最早的专用量子计算机也于1998年建成并投入运算。

量子的逻辑位与传统计算机的逻辑位一样,都能表示一位二进制信息。不同的是,从量子系统中读出这样的信息位是通过量子自旋向上表示“零”或向下表示“壹”来实现的。由于量子态的纠缠性质,量子计算就将原来经典计算“零”“壹”逻辑用纠缠的零性和壹性的不确定概念替代了。据此不但可以完成经典计算能够完成的任务,而且还能够完成原来经典计算不能够完成的任务。特别是由于量子态可以同时迭加表示和计算,因此量子计算速度也要快得多。

比如,量子记位方法不但能够像传统计算机一样来表达任意二进制数,而且进一步,由于量子位态是由量子力学不确定性获得的,因此这种位是真正的随机位,而任何传统计算机都无法实现这样的随机位。注意,在传统计算机中的随机数生成程序实际上产生的是伪随机数,这同量子不确定性是不能同日而语的。于是,基于量子原理实现的计算真正能够突破传统计算机常规逻辑的局限。

同符号逻辑方法的经典计算相比较,由于量子态本身的性质,使得原来在经典计算理论中普遍适用的假设在量子计算中不再有效了。威廉士等人在《最终的零和壹》一书中^[5]列举了所有这些失败的假设:

- (1)记数位总有一个确切值不再有效,这依赖于测量;
- (2)记数位不是0就是1也失效,可能是0和1的某种迭加;
- (3)记数位复制可以不受影响不再有效,对于量子记数位不可能不被干扰地进行复制;
- (4)记数位读取可以不受影响不再有效,读取一个量子记数位必定会改变该量子记数位的值;
- (5)读取一个记数位的值不会改变其他(未读)记数位的值也不再有效,因为对于量子记数位,如果读取的量子记数位与其他量子记数位相互纠缠,那么读取一个记数位的值必然会影响其他(未读)记数位的值;
- (6)计算某个计算的值必须运行计算机也不再适用,因为对于量子计算机,如果其能够完成某个计算,那么即使不运行这台计算机,也能够获得结果。

当然,量子计算必然受到量子自然机制的制约,因此必然首先满足一切量子力学的性质。这些性质包括:相干性、纠缠性、非确定性、不可克隆性和非定域性。其中纠缠性是纯量子现象,只有在量子行为中才出现的现象;迭加性意味着可以进行并行计算;相干性则意味着可以进行互信息处理;而利用不可克隆性可以进行信息安全应用等。

一般量子计算过程分为制备初始态、量子态演化和测量结果态三个阶段。正是因为每个阶段中均利用了自然的量子物理性质,因此量子计算过程是一种典型的“自然机制+算法”的计算过程。

对于制备初始态阶段,通常用 n 位量子记忆寄存器来制备初始量子态。 n 个量子记数位可以同时表示全部可能编码的 2^n 个数的迭加态,这样就可以为并行计算提供机制保障,并且可以仅通过多项式计算复杂性 $O(n)$ 来进行指数计算复杂性 $O(2^n)$ 的数据处理。

对于量子态演化阶段,则通过完成一定计算功能的量子线路装置来实现。这些量子线路装置是由实现一定变换操作的量子门相互连接形成的。从理论上讲,这些变换操作相当于量子态变换算子,因此量子态演化也可以看成是一系列量子态变换算子作用的结果。

最后,对于测量结果态阶段,则完全是通过特定的量子测量仪器来进行,并获得量子计算的结果。

理论上,可以将任意量子计算过程的执行看做是由一台量子图灵机完成的(注意,量子图灵机理论描述还不能等同于实际的量子计算机物理系统,这就像量子力学描述不能等同于实际的量子物理系统一样)。与经典图灵机不同,量子图灵机由一条无限长的量子储存带和靠量子机制相互作用的读写头组成。“带”的每个单元均代表一个量子记数位,可以以“0”与“1”的迭加形式存在,这样就可以在带上同时对编码问题的许多输入进行计算,结果为所有输入对应结果的迭加并通过测量获得所有这些经典结果确定的联合性质。特别是迭加态可以对应于若干经典位串格局的一种纠缠态,而正因为纠缠态编码的存在,才使得量子图灵机不同于经典的图灵机(包括不同于非确定的概率图灵机)。

那么,量子计算机能否超越经典计算机呢?或者说量子计算方法在哪些方面优越于符号逻辑方法呢?我们起码可以从这样三个方面来讨论这个问题:(1)计算复杂性,(2)可计算性和(3)通用性。于是问题便变为量子计算复杂性比经典计算复杂性更低吗?量子计算能力更大吗(能做经典计算机不能做的事情)?以

及存在通用量子计算机,便可模拟任意量子计算机吗?显然从上面的讨论中已经看到,回答均是肯定的!事实上,肖尔找到的大数因式分解的量子算法^[6]、超距传送的量子计算实现^[7]以及通用量子图灵机构造证明^[4]就分别是对这三个问题做出了肯定回答。

的确,通过量子计算机,就能完成任何常规计算机无力完成的一些工作,特别是通过量子计算的迭加性和纠缠性,使得许多老大难的 NP 问题的多项式算法构造也已经成为可能。至于量子计算在信息编码和通信安全方面的应用更是大有作为。为了对量子计算的这种“大有作为”性有更深刻的了解,让我们回顾经典计算的局限性。

三、经典计算的局限性

1931年,哥德尔在证明了一阶谓词逻辑的一致完备性之后,旋即发表了一篇题为“论数学原理中的形式不可判定命题及有关系统”的论文。在这篇论文中,哥德尔给出了两个惊世骇俗的定理,指出了逻辑形式系统不可克服的局限性。

如果我们记“皮亚诺算术”为 PA,就是以一阶谓词逻辑的形式语言陈述皮亚诺公理(自然数定义+数学归纳法)而得到的形式算术理论。那么,哥德尔的两个定理可表述如下。

哥德尔第一不完全性定理

存在一个 PA 句子 p ,使得:如果 PA 是一致的,则 p 在 PA 中不可证;如果 PA 是 ω —一致的(后来在 1936 年罗塞证明了可以去掉 ω 限制),则 p 在 PA 中不可证。因此 PA 是不完备的。

哥德尔第二不完全性定理

如果 PA 是一致的,那么 PA 的一致性不能在 PA 内部证明。

很明显,对于第一个定理,只要具体构造出满足要求的这样一个 p 句子即可。哥德尔当年找到的句子是:号码为 λ 的公式的自代入是不可证的。

由于采用哥德尔创造的一种编码方法可以对任意 PA 中的公式进行能行可判定且唯一性编码,因此上面的句子可以表示为一个 PA 公式 $\alpha(x/\lambda)$

其中 $\alpha(x)$ 就是 $\forall y \neg A(x, y)$,意思是“任何公式序列 y 都不是公式 x 的自代入的证明”,当然这也是哥德尔可编码的,其编码就是 λ 。由于 λ 又自代入到 $\alpha(x)$ 中,因此 $\alpha(x/\lambda)$ 又表示“号码为 λ 的公式的自代入”本身。于是找到的 p 句子实际上就是一个自指句,这样就很容易证明其正是满足第一定理的句子。后来罗塞为了去掉 ω 的限制,构造了一个更地道的自指句:如果 q 的自代入有个证明,则其否定有个号码更小的证明。完美地证实了哥德尔第一定理。

第二定理的证明思路稍微间接一些,因为利用第一定理我们有:

如果“PA 一致”,则“ λ 的自代入是不可证的”。

此时由于上述可用 PA 表达为: $\text{Consis}(\text{PA}) \rightarrow \alpha(x/\lambda)$

因此,如果我们能够在 PA 内部完成对上式的证明(一致性的要求),即得到: $\text{PA} \vdash \text{Consis}(\text{PA}) \rightarrow \alpha(x/\lambda)$

那么我们从 PA 一致性($\text{Consis}(\text{PA})$),就能推出 $\text{PA} \vdash \alpha(x/\lambda)$,显然这与 $\alpha(x/\lambda)$ 在 PA 中不可证是矛盾的。因此我们必然得出哥德尔第二定理。

从上述两个定理的证明思路(完整的证明均要长达 40 多页)中可以看出,哥德尔的这两个定理并不局限于 PA 系统的。事实上,只要一个形式系统包含了 PA 系统(因此其描述能力比 PA 强,同样具备自指能力,能够构造自指句),那么哥德尔的这两个定理同样对其有效。这就是为什么说哥德尔的这两个结论都是毁灭性的。因为这实际上是宣告了公理化方法的局限性。更为糟糕的是,由于一致性的不可证明,根本就无法保证整个数学体系中不会出现矛盾,而一旦真的出现了矛盾而且又无法消除,那么全部数学都将变得毫无意义。

哥德尔定理的另一个意义就是从根本上否定了排中律的有效性。以前我们坚信一个命题非真即假,但哥德尔定理指出,有些命题既不能被证明,又不能证伪。也就是说,对任何足够大的形式系统都存在着不可判定的命题。实际上,对于计算问题而言,这也就是指出了必定存在着不可计算的问题。因此如果计算算法是基于逻辑形式化之上的,那么它必定也是有局限性的。

实际上,几乎在算法化计算理论初创的一开始,公理形式系统不可回避的缺陷就波及到了这一年轻的学科之中。1936年图灵发表的论文^[8]与1941年丘奇发表的论文^[9],恰恰说明的正是这一点,并被后人总结为图灵-丘奇论题。

如果以图灵机作为我们的计算模型,那么图灵-丘奇论题指出的是这种计算模型可以处理对象的范围,也就是说给出了可计算性的界限。根据图灵-丘奇论题,不能由图灵机完成的计算任务都是不可计算的。只有在所有输入上都终止的图灵机,才与直觉上可计算的算法相对应。尽管图灵-丘奇论题只是一种假设,但由于迄今为止,所有可能的计算模型,如递归函数、半图厄过程、 λ 演算、波斯特机等,其计算能力均没有超过图灵机,因此这一论题是具有权威性的。

用通俗的语言讲,图灵-丘奇论题所定义的可计算,指的就是可在有限时间完成的且可一步步机械执行的任务。一个任务存在这样一个计算过程,就称为该任务是有算法存在的。由于事实上确实存在着图灵机不可计算的问题,如图灵停机问题^[8]、辅砖问题^[10]等等,图灵-丘奇论题实际上是揭示了算法计算的局限性。

有趣的是,证明不可计算问题存在的方法,从本质上讲与哥德尔定理的证明如出一辙,利用的都是自指性。因此,从这个意义上讲,也可以说,自指性是一切形式系统的死敌,包括这里的形式计算系统。

当然,形式计算系统的局限性还不止这些,除了不可计算性外,还有计算复杂性上的限制。也就是说,在经典计算系统中,只有计算时间的花费不高于多项式量级的确定性算法才是有实际意义的。而在实际中存在着大量有意义的问题却找不到这样的有效算法,即学术界所谓的一个悬而未决的 NP 完全性问题(那些所有 NP 问题可以通过多项式算法归结其上的 NP 问题)。

总而言之,对于经典计算而言,无论是计算能力,还是计算复杂性,都是有本质上的局限性的。

四、量子计算与其他计算范例的比较

从上面的讨论中我们可以很明显看到,量子计算范例的确有许多方面超越了经典计算的范围。现在我们将进一步指出,正是在这一点上,量子计算范例也同样优越于以往所有的计算范例,包括符号逻辑、神经网络、遗传演化和基因计算等。

首先,符号逻辑计算范例是以纽厄尔和西蒙定义的物理符号系统为典型的^[11]。这种物理符号主义的观点认为,物理符号系统由一组称为符号的实体组成,它们都是物理模型,并可在另一类称为符号结构的实体中作为组分出现。于是组成符号结构的是一组按某种物理方法关联起来的符号示例。在任何时刻,系统都含有一组这样的符号结构,以及作用于符号结构之上的操作过程。

归纳起来,符号逻辑方法的局限性主要体现在这样一些特性上,即一步步机械操作性、原则上的序列式因果性和算法计算的确定性。而正像我们在介绍量子计算原理中看到的那样,量子计算恰恰就是在这些方面突破经典计算的局限性的。

人工神经网络是出于对符号逻辑方法局限性的补充,在美国科学家赫普费尔^[12]的倡导下,在早期感知机的基础上,自80年代以来很快发展起来的一种新的计算范例。人工神经网络的一般原理主要是模仿大脑神经网络的工作原理并做了数学上的简化抽象。其主要特点是不再有基本符号和符号组合生成规则之类的概念,知识表示采用神经元激活图式,基本操作表示为对连接权值的处理,模拟智能活动则靠一组强有力的学习算法。在神经网络中,复合律当然是不再有效,无论规模大小,单独和复合的问题都是由一个整体网络的模式表示^[13],于是约束条件的选择就变得非常重要,否则计算复杂性将使这种方法在实际求解问题中变得毫无意义。

神经网络的不足是缺乏与环境相互作用的机制,难以建立起神经网络中间语言与外部环境语言之间沟通的渠道。特别是拉杜文证明了这种神经联结主义方法从根本上来讲其表达能力与传统的符号逻辑主义方法是等价的^[14],因此神经网络方法存在着与传统符号逻辑方法一样的局限性。不过由于神经网络与量子系统在理论描述方面有着惊人的相似性^[15],因此这种局限性无疑正可以用建立在量子原理之上的量子计算来弥补。从这个意义上讲,量子计算范例也是明显优越于神经网络计算范例的。

几乎出于神经网络方法类似的需要,二十世纪七、八十年代再度兴起的遗传演化方法^{[16][17]},到了九十

年代完全趋于成熟,形成了遗传演化计算范例^{[18]、[20]}。遗传演化方法主要是模拟生物在自然环境中的遗传和进化过程而形成的一种自适应全局优化概率搜索方法。使用这种方法可以使各种人工系统具有优良的自适应能力和优化计算能力^[21]。

不过不难看出,遗传演化方法如要真实地再现自然生命的遗传演化过程,那么不解决遗传操作的高度并行性以及概率产生的真随机性,而仅仅采用经典计算来模拟,显然是不可能真正超越经典计算局限性的,即使是计算复杂性也一样。就这一点而言,量子机制中的随机性才真正指出了超越经典计算局限性的出路。因此遗传演化计算范例如要在实质上突破经典计算的局限性,那么就必须利用量子计算的这种真正的随机性机制。

也许利用生物基因自然机制的基因计算范例同量子计算范例最为接近。1994年春美国科学家阿德勒曼设计并研制了一台称为 TT-100 的 DNA 计算机^[22]。DNA 计算主要是利用 DNA 分子如下两个特点:一是 DNA 链的大规模并行性;另一是华森-克里克发现的 DNA 双螺旋结构的互补性(这两点与量子计算的迭加性和纠缠性有异曲同工之妙)。作为抽象,可以进一步给出 DNA 图灵机理论模型^[23]。其要点是这样的图灵机,其带是采用互补性双带作为互补性双串的读写带。业已证明, DNA 计算在计算复杂性方面远远胜过经典计算,特别是借助于互补性特征, DNA 计算可以以多项式复杂性来计算解决 NP 难题。比如可满足性问题的 DNA 算法的给出,就是最好的证明^[24]。但同样也已得到证明, DNA 计算却不能突破经典的丘奇-图灵论题^[23]。从这个意义上讲,量子计算范例依然要比基因计算范例优越。

五、结合自然机制的算法革命

从上面的讨论中我们看到,基于形式逻辑的符号逻辑计算有着严重的局限性,而所有比符号逻辑方法优越的计算范例,尽管或多或少都利用了或模拟了自然机制,但由于在根本上没有摆脱经典计算的束缚,因此都有这样或者那样的缺陷。因此有远见的科学家早已认识到,要从根本上超越经典计算,充分利用自然机制,提倡量子计算这种新型的计算范例,才是未来计算机科学发展的真正出路,才能最大可能地拓展计算研究和应用的范围。

例如,将量子计算理论和技术与传统人工智能方法的结合,可以激励研究人员向原有的人工智能困难开展新的挑战。比如,可以通过将量子计算方法与神经网络方法结合来进行人工意识的深化研究;还可以基于量子概率机制来进一步完善遗传演化方法,并重新应用到人工智能研究的各个方面;以及基于量子迭加并行机制,将群体计算方法加以完善,借以实现人类神经集群相互作用的心智自涌现机制;如此等等。

当然对量子计算范例最有意义的运用莫过于将量子物理机制引入到人工意识的研究之中。我们知道强人工智能的主要困境是无法应对语言和意识中不合逻辑的自指性结构,因为意识是一种自明的能力,而语言中又普遍存在自指句,归根结底都是不可能归结为某个逻辑形式系统的推导及其结论^[25]。而利用量子纠缠性特点正好可以应对这种不合逻辑性,以复杂性对付复杂性^{[26][27]}。有证据表明^[28],大脑就是一台天然的量子计算机,非局域性的意识过程与量子行为的非局域性一拍即合。因此心脑的一种计算描述可以通过量子物理过程将意识与表达内容相连接^[29]。

应该看到,量子计算范例体现的是一种强调自然机制与算法相结合的理念。这是从哲学意义上对传统计算范例的突破。这样一来,当我们把经典的“计算”概念(丘奇-图灵论题意义上的)推广到“自然机制+算法”的新内涵之上,那么给计算机科学的研究前景必然带来一片广阔的新天地。有了这种非经典自然计算观,再加上经典计算方法,我们就可以真正通过“自然机制+算法”弱人工智能的策略来实现心脑计算的目标,从而避免强人工智能一味采用逻辑算法而陷入的困境。

当然,从发展的观点看,这里“自然机制”除了量子物理机制外,还可以利用其他物理、生物、甚至神经物质本身的固有机理。而“算法”则用来作为人工组织这些“自然机制”的手段,完全是逻辑形式化的。

从这种新的计算观点出发,任何事情都可分为可约简部分和不可约简部分,这也是物理系统与对物理系统进行形式化理论描述难以融合的两个不同性质部分。对于完全可以算法化(丘奇-图灵论题意义上,特别是确定性可多项式时间的)加以描述的部分,是属于可约简部分,否则便是不可约简部分。一般不可约简部分本质上属于自然机制问题,只有通过自然机制以复杂性对付复杂性的策略才能够解决。有些问题是

完全可约简的,这样的问题可完全归入经典算法研究的范围。但有些问题除了可约简部分外,还存在不可约简部分,因此需要通过“自然机制+算法”相结合的方法来解决。还有些问题完全是由不可约简部分组成的,只能完全由自然机制的方法来解决。

综上所述,作为“自然机制+算法”(结合自然机制的算法计算)研究成果的典型代表,量子计算范例已经突破了经典计算的局限性。展望量子计算为代表的新型计算理论和技术,前景十分诱人,自然观计算范例将给计算机科学研究带来的是一场崭新的革命。这场革命不但可以使传统的计算理论走出困境,而且还可以推动计算机科学技术事业的发展进程。我们相信,未来“自然机制+算法”的计算范例,一定会比以往做出更加丰富的成就。这就是透视量子计算给我们带来的、对计算哲学的新启示。

[参 考 文 献]

- [1] Benioff, p., 1980, *The Computer as a Physical System: A Microscopic Quantum - Mechanical Hamiltonian Model of Computers as Represented by Turing Machines*, Journal of Statistical Physics, Vol. 22, 563 - 591.
- [2] Feynman, R., 1982, *Simulating physics with computers*, international Journal of Theoretical Physics, Vol. 21, Nos. 6/7, 467 - 488.
- [3] Deutsch, D., 1985, *Quantum Theory, The Church - Turing Principle and the Universal Quantum Computer*, Proc. R. Soc. London A 400, pp. 97 - 117.
- [4] Lloyd, S., 1996, *Universal Quantum Simulators*, Science, Vol. 273, 23, 1073 - 1078.
- [5] Williams, C. P., S. H. Clearwater, 2000, *Ultimate Zero and One*, Copernicus, Springer - Verlag, New York.
- [6] Shor, P., 1994, *Algorithms for Quantum Computation: Discrete Logarithms and Factoring*, Proceedings 34th Annual Symposium on foundations of computer science, 124 - 134.
- [7] Bennett, C. etc., 1993, *Teleporting an Unknown Quantum State via Dual Classical and Einstein - Podolsky - Rosen Channels*, Physical Review Letters, Vol. 70, 1895 - 1899.
- [8] Turing, A. M., 1936, *On Computable Numbers with an Application to the Entscheidungs Problem*, proc. london math. Soc. pp. 230 - 265.
- [9] Church, A., 1941, *The Calculi of lambda - Conversion*, Annals of Mathematical Studies, # 6, Princeton university Press.
- [10] Wang, h., 1961, *Proving Theorems by Pattern Recognition*, Bell System Technical journal, 40, 1 - 141.
- [11] Newell, A. & H. A. Simon, 1976, *Computer Science as Empirical Inquiry*, Communications of the ACM, 19, 35 - 66.
- [12] Hopfield, J., 1982, *Neural networks and Physical Systems with Emergent Collective computational Abilities*, Proceedings of the National Academy of Sciences of the U. S. A., 79, 2554 - 2558.
- [13] Van Gelder, T., 1991, *What is the "D" and "PDP"? A survey of the concept of distribution*, In R. W. Ramsey, S. Stich, & D. Rumelhart (Eds.), Philosophy and connectionist theory, Hillsdale, NJ: Erlbaum, 33 - 59.
- [14] Radovan M., 1997, *Computation and understanding*, in: Mind Versus Computer, M Gains et al(eds), IOS Press, 211 - 223.
- [15] Perus, M., 1997, *Mind: Neural computing plus quantum Consciousness*, In: Mind Versus Computer, M Gains al(eds), IOS Press, 156 - 170.
- [16] Holland J. H., Reitman J. S., 1978, *Cognitive Systems Based on Adaptive Algorithms*, in Waterman D. A. & Hayes - Roth F. (Eds), *Pattern Directed Inference systems*, New York, Academic press, 313 - 329.
- [17] Goldberg, D. E., 1989, *Genetic Algorithms in Search, optimization and machine learning*, Addison - Wesley.
- [18] Davis L. D., 1991, *handbook of genetic Algorithms*, Van nostrand Reinhold.
- [19] Koza J. R., 1992, *Genetic programming, on the programming of Computers by means of natural Selection*, MIT Press.
- [20] Koza J. R., 1994, *Genetic programming II, Automatic Discovery of Reusable programs*, MIT Press.
- [21] Ackley, D., & M > Littman, 1992, *Interactions between learning and evolution*. In c. Langton, C. Taylor, D. Farmer & S. Rasmussen(Eds), Artificial life II, MA: Addison - Wesley, 1 - 23.
- [22] Adleman, L. M., 1994, *Molecular computation of solutions to combinatorial problems*, Science, 226, 1021 - 1024.
- [23] Paun, G., G. Rozenberg, A. Salomaa, 1998, *DNA computing: New computing Paradigm's*, Springer - Verlag, Berlin Heidelberg.
- [24] Lipton, R. J., 1995, *Using DNA to solve NP - complete problems*, Science, 268, 542 - 545.

(下转第 106 页)

- 此文为基础,发表记者访谈录“哲人科学家研究问答——李醒民教授访谈录”,1993年第10期,第42-44页。
- [14] 李醒民:“论批判学派”,《社会科学战线》(长春),1991年第1期(总第53期),第99-107页。
- [15] 李醒民:《马赫》,第139-159页。或者,李醒民:“马赫:进化认识论和自然主义的先驱”,《自然辩证法通讯》(北京),第17卷(1995),第6期,第1-9页。
- [16] 李醒民:“批判学派:进化认识论的先驱”,《哲学研究》(北京),2002年第5期,第52-57页。(该文在作者撰写论文“关于‘批判学派’的由来和研究”时尚未发表)
- [17] 李醒民:“善于在对立的两极保持必要的张力——一种卓有成效的科学认识论和方法论准则”,《中国社会科学》(北京),1986年第4期(总第40期),第143-156页。英文摘要 The Preservation of the Essential Tension Between Opposing Extremes: A Highly Effective Principle of the Epistemology and Methodology of Science 刊于第VIII届国际逻辑学、方法论和科学哲学会议论文集摘要集,莫斯科,1987年。
- [18] 李醒民:《两极张力论. 不应当抱住昨天的理论不放》,陕西科学技术出版社(西安),1988年第1版,第14-44页。
- [19] 李醒民:“论哲人科学家哲学思想的多元张力特征”,《学术界》(合肥),2002年1期,第171-184页。
- [20] 李醒民:《理性的光华——哲人科学家奥斯特瓦尔德》,福建教育出版社(福州),1994年第1版,第86-132页。

〔责任编辑 孟建伟〕

(上接第99页)

- [25] Caplain, G., 1997, *Is Consciousness a computational Property?* in: *Mind Versus Computer*, M. Gains et al (eds), IOS Press, 190-194.
- [26] Stapp, H. P., 1995a, *Why classical mechanics cannot naturally accommodate consciousness but quantum mechanics can*, in K. Pribram (Ed.), *Scale in conscious Experience: Is the brain too important to be left to specialists to study?* Hillsdale: Lawrence Erlbaum.
- [27] Stapp, H. P., 1995b, *The hard problem: A quantum approach*, *Journal of Consciousness Studies* 2: 1.
- [28] Amoroso R L, 1997, *The Theoretical Foundations for Engineering a conscious quantum Computer*, in: *Mind Versus Computer*, M Gauss et al (eds), IOS Press, 141-155.
- [29] Schweizer P, 1997, *Computation and the science of Mind*, in: *Mind Versus Computer*, M Gains et al (eds), IOS Press, 195-201.

〔责任编辑 胡新和〕

clined to revert to the parental forms ”.

Wu Wen – tsun, From Topology to Mathematics – Mechanization (p.81)

HU Zuo – xuan

Wu Wen – tsun is one of few Chinese mathematicians who are prestigious in international scientific community. This paper gives a brief description of Wu’s academic career, especially his great achievements in Topology and Mathematics – Mechanization.

Nine Drawbacks on the Quantifying Trend of the Current Evaluation to Academy (p.90)

LIU Ming

This paper emphasizes several serious disadvantages arising from the current quantifying evaluation method, while affirming its advantages, such as simplifying the standard system, improving efficiency, making computation and comparison feasible, facilitating anticipation and manipulation. The paper points out that its essence is to confuse administration and academy, to confuse quantity and quality, to make the complicated academic evaluation simplified, thus resulting in noneffective labor, repeated labor and producing invalid and low – quality academic works. This method is the institutional root of causing academic foam. This paper expects to set out from the reform policy of separating administration from academy to search the possible ways of academy evaluation system innovation.

A Philosophical Perspective on the New Quantum Computing Paradigm (p.94)

ZHOU Chang – le

Centering on the issue beyond classical computing ability, this paper presents a comprehensive philosophical perspective on the new quantum computing paradigm. It gives a systematic introduction to the new algorithm with natural mechanisms, and conducts comparison with the quantum computing paradigm and all the existing computational paradigms. A finding concludes the paper that by now only the quantum computing paradigm has truly gone beyond the limits of classical computing and it has profound scientific and philosophical significance.

On the Origin and Researches of “the Critical School of Thought” (p.100)

LI Xing – min

This paper presents and discusses researches and views on the critical school of thought as a whole by Abel Rey, V. I. Lenin, and Li Xingmin. The representative figures of the school of thought are E. Mach, H. Poincaré, P. Duhem, W. Ostwald, K. Pearson. They are pioneers of scientific revolution and philosophical revolution in the 20th century.

本期责任校对:李志超;

英文目录及摘要校对:王大明

启 本刊编辑部电话变更为(010)88256007;中国科学院研究生院原以 6822
事 起头的电话号码均变为以 8825 起头,望作者和读者留意。